

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2002年7月4日 (04.07.2002)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 02/052620 A1

(51) 国際特許分類<sup>7</sup>:  
G01B 11/00, G01M 11/02

H01L 21/027,

(MIZUNO, Yasushi) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).

(21) 国際出願番号:

PCT/JP01/11274

(74) 代理人: 恩田 博宣 (ONDA, Hironori); 〒500-8731 岐阜県岐阜市大宮町2丁目12番地の1 Gifu (JP).

(22) 国際出願日:

2001年12月21日 (21.12.2001)

(25) 国際出願の言語:

日本語

(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(26) 国際公開の言語:

日本語

(30) 優先権データ:

特願 2000-390551

2000年12月22日 (22.12.2000) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo (JP).

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

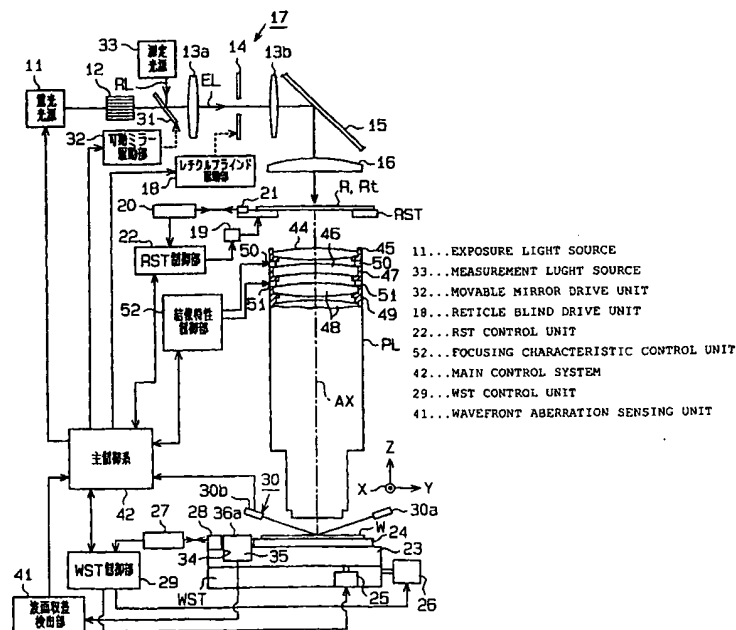
(72) 発明者: および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 水野 恭志

[続葉有]

(54) Title: WAVEFRONT ABERRATION MEASURING INSTRUMENT, WAVEFRONT ABERRATION MEASURING METHOD, EXPOSURE APPARATUS, AND METHOD FOR MANUFACTURING MICRODEVICE

(54) 発明の名称: 波面収差測定装置、波面収差測定方法、露光装置及びマイクロデバイスの製造方法



(57) Abstract: Prior to measurement of the wavefront aberration of a projection optical system (PL), the position where the image of the pattern of a test reticle (Rt) the image of which is formed on a predetermined surface is formed is measured by an AF sensor (30). According to the results of the measurement, the position of the

[続葉有]



## 添付公開書類:

— 国際調査報告書

— 請求の範囲の補正の期限前の公開であり、補正書受理の際には再公開される。

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

incident surface (36a) of a wavefront aberration measurement unit (35) is adjusted to adjust the position of the image of the pattern formed on the incidence surface (36a). After this adjustment, the image of the pattern formed through the projection optical system (PL) is sensed by the wavefront aberration measurement unit (35). From the results of the sensing, information on the wavefront aberration of the projection optical system (PL) is collected by means of a wavefront aberration sensing unit (41).

## (57) 要約:

投影光学系 P L の波面収差の測定に先立って、所定面に結像されるテストレチクル R t のパターンの像の結像位置を A F センサ 3 0 により検出する。この検出結果に基づいて、波面収差測定ユニット 3 5 の入射面 3 6 a の位置を調整して、入射面 3 6 a に対するパターンの像の位置を調整する。この調整の後、投影光学系 P L を介して結像されるパターンの像を波面収差測定ユニット 3 5 により検出し、その検出結果に基づいて、波面収差検出部 4 1 により投影光学系 P L の波面収差情報を求める。

## 1

## 明細書

波面収差測定装置、波面収差測定方法、露光装置及び  
マイクロデバイスの製造方法

## 技術分野

本発明は、例えば、半導体素子、液晶表示素子、撮像素子、薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスの製造プロセスにおけるフォトリソグラフィ工程で使用される露光装置において、投影光学系等の被検光学系の波面収差を測定する波面収差測定装置、波面収差測定方法、及び、その波面収差測定装置を備えた露光装置、並びに、前記のようなマイクロデバイスの製造方法に関するものである。

## 背景技術

従来、レチクル、フォトマスク等のマスク上に形成されたパターンを露光光で照明し、前記パターンの像を投影光学系を介してフォトレジスト等の感光性材料の塗布されたウエハ、ガラスプレート等の基板上に転写する露光装置が知られている。

近年、半導体素子はますます高集積化しており、その回路パターンにおける一層の微細化の要求が高まってきている。この微細化要求に対応するため、より波長の短い遠紫外光、例えばKrFエキシマレーザ光 ( $\lambda = 248 \text{ nm}$ )、ArFエキシマレーザ光 ( $\lambda = 193 \text{ nm}$ )、F<sub>2</sub>レーザ光 ( $\lambda = 157 \text{ nm}$ ) 等のパルス光を用いた露光装置も開発されてきている。

また、微細化要求に対応するため、投影光学系の結像性能の最適化を目的として、投影光学系の収差測定が行われる。投影光学系の収差測定は、例えば次のように行われている。つまり、収差測定用のマスクを物体面上に配置し、マスクに形成された所定のパターンの像を投影光学系の像面に配置した前記基板上に焼き付け、その焼き付けられた像を現像する。そして、現像された像を走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて、前記像の倍率、非対称性の度合等を測定し、その測定結果に基づいて前記投影光学系の収差を求めている。

しかしながら、前記従来方法においては、収差測定用のマスクのパターンの製造誤差、前記フォトレジストの塗布ムラ、現像ムラ等のプロセス誤差により、前

記収差の測定精度が十分に確保できないという問題がある。しかも、前記SEM観察に際して、基板に対して所定の前処理、例えば基板の現像工程等が必要であり、収差を測定するまでに多くの時間を要した。

このような問題を回避するため、例えばShack-Hartmann（シャック-ハルトマン）方式により、前記投影光学系の収差を波面収差として測定する方法も考えられている。この方式では、投影光学系の結像面に結像されたスポット光をコリメータレンズが平行光に変換する。そして、その平行光を多数のレンズが2次元的に配列されたマイクロレンズアレイに入射させる。これにより、前記平行光は、各レンズ毎に、所定位置に配置された撮像素子上に結像される。

ここで、前記投影光学系に収差が存在しない場合には、前記マイクロレンズアレイに入射する平行光は平行な波面を有するため、マイクロレンズアレイの各レンズは、入射した光束を各レンズの光軸上に結像する。

一方、前記投影光学系に収差が存在する場合には、前記マイクロレンズアレイに入射する平行光は前記収差に応じて歪んだ波面を有するため、同平行光は、各レンズ毎にそれぞれ異なる波面の傾きを持つことになる。そして、マイクロレンズアレイの各レンズに入射した光束は、各レンズ毎に前記波面の傾き量に応じて、その光軸からずれた位置に結像することになる。この各レンズ毎の結像位置から波面の傾きを求めることができる。

ところが、前記の従来方法においては、前記コリメータレンズ、マイクロレンズアレイ及び撮像素子を備えた波面収差測定ユニットを、例えば前記基板を支持する基板ステージ上の所定位置に配置した状態で、その波面収差測定ユニットにより投影光学系の波面収差を測定していた。その際、波面収差測定ユニットの検出面を、投影光学系の結像面内に配置する必要がある。

もし、投影光学系の結像面内に検出面が配置されていない場合、波面収差測定ユニットで測定した波面収差情報を、例えばツェルニケの多項式により種々の収差成分に展開した際に、デフォーカス成分が大きくなるだけでなく、他の収差成分もその精度が低下する可能性がある。

## 発明の開示

本発明は、このような従来の技術に存在する問題点に着目してなされたものである。その目的としては、投影光学系等の被検光学系の波面収差を正確に測定することができる波面収差測定装置及び波面収差測定方法を提供することにある。また、本発明の他の目的は、投影光学系の波面収差を正確に測定することができて、露光精度を向上させることができる露光装置、及び、マイクロデバイスを高精度に製造することができるマイクロデバイスの製造方法を提供することにある。

前記目的を達成するために、本発明の一態様では、被検光学系を介して所定面に結像されるパターンの像を検出するパターン像検出機構と、検出された前記パターンの像に基づいて前記被検光学系の波面収差情報を求める波面収差演算機構とを備えた波面収差測定装置が提供される。波面収差測定装置は、前記所定面に対する前記パターンの像の結像状態を検出する結像状態検出機構と、検出された前記結像状態に基づいて前記所定面と前記パターンの像との相対位置を調整する調整機構とを備えたことを特徴とする。

本発明の一実施形態では、被検光学系を介して結像されるパターンを検出するパターン像検出機構と、検出された前記パターンの像に基づいて前記被検光学系の波面収差情報を求める波面収差演算機構とを備えた波面収差測定装置が提供される。波面収差測定装置は前記波面収差情報をツェルニケ多項式により展開し、デフォーカス成分を算出する算出器と、前記算出器で算出された前記デフォーカス成分に基づいて、前記所定面と前記パターンの像との相対位置を調整する調整機構とを備えたことを特徴とする。

本発明の別の態様では、被検光学系を介して所定面に結像されるパターンを検出し、検出された前記パターンの像に基づいて前記被検光学系の波面収差情報を求める波面収差測定方法が提供される。その測定方法は、前記所定面に対する前記パターンの像の結像状態を検出し、検出された前記結像状態に基づいて前記所定面と前記パターンの像との相対位置を調整し、前記所定面と前記パターンの像との相対位置を調整した後に、前記被検光学系の波面収差情報を求めることを特徴とする。

本発明の一実施形態の波面収差測定方法は、波面収差情報をツェルニケ多項式

により展開することによってデフォーカス成分を算出し、前記デフォーカス成分に基づいて前記所定面と前記パターンの像との相対位置を調整する。

#### 図面の簡単な説明

図1は本発明の露光装置の第1実施形態を示す概略構成図。

図2は図1の波面収差測定ユニットの内部構成を示す断面図。

図3は図1の波面収差測定ユニットによる波面収差の測定方法に関する説明図。

図4(a)は投影光学系に収差が存在しない場合の波面収差測定ユニットにおける波面収差の測定状態に関する説明図。

図4(b)は投影光学系に収差が存在する場合の波面収差測定ユニットにおける波面収差の測定状態に関する説明図。

図5はツェルニケの多項式による収差成分の展開に関する説明図。

図6はマイクロデバイスの製造例のフローチャート。

図7は半導体素子の場合における図6の基板処理に関する詳細なフローチャート。

#### 発明を実施するための最良の形態

##### (第1実施形態)

以下に、本発明を半導体素子製造用の走査露光型の露光装置に具体化した第1実施形態について、図1～図4に基づいて説明する。

まず、露光装置の概略構成について説明する。

図1に示すように、露光光源11は、露光光ELとして、例えばKrFエキシマレーザ光、ArFエキシマレーザ光、F<sub>2</sub>レーザ光等のパルス光を出射する。前記露光光ELはオプティカルインテグレータとして、例えば多数のレンズエレメントからなるフライアイレンズ12に入射し、そのフライアイレンズ12の出射面上にはそれぞれのレンズエレメントに対応した多数の2次光源像が形成される。なお、オプティカルインテグレータとしては、ロッドレンズであってもよい。前記フライアイレンズ12から射出した露光光ELは、リレーレンズ13a、13b、レチクルブラインド14、ミラー15、コンデンサレンズ16を介してレ

レチクルステージRST上に載置されたマスクとしてのレチクルRに入射する。レチクルRのパターン面には半導体素子等の回路パターン等が描かれている。

ここで、前記フライアイレンズ12、リレーレンズ13a、13b、ミラー15、コンデンサレンズ16の合成系は、前記2次光源像をレチクルR上で重畳させ、レチクルRを均一な照度で照明する照明光学系17を構成している。前記レチクルブラインド14は、その遮光面がレチクルRのパターン領域と共役な関係をなすように配置されている。そのレチクルブラインド14は、レチクルブラインド駆動部18により開閉可能な複数枚の可動遮光部（例えば2枚のL字型の可動遮光部）からなっている。そして、それらの可動遮光部により形成される開口部の大きさ（スリット幅等）を調整することにより、レチクルRを照明する照明領域を任意に設定するようになっている。

前記レチクルステージRSTは、リニアモータ等で構成されたレチクルステージ駆動部19により所定の方向（走査方向（Y方向））に移動可能となっている。レチクルステージRSTは、レチクルRの全面が少なくとも前記露光光ELの光軸AXを横切ることができるだけの移動ストロークを有している。なお、図1においては、後述する投影光学系PLの光軸AXに沿う方向をZ方向、前記投影光学系PLの光軸及び紙面と直交する方向をX方向、前記投影光学系PLの光軸に直交し紙面に沿う方向をY方向とする。また、前記レチクルステージRSTは、前記露光光ELの光軸AXに垂直な平面内において、前記走査方向と垂直なX方向に微動可能に、かつ前記光軸AX周りに微小回転可能にレチクルRを保持している。

前記レチクルステージRSTの端部には、干渉計20からのレーザビームを反射する移動鏡21が固定されている。この干渉計20によって、レチクルステージRSTの走査方向の位置が常時検出され、その位置情報はレチクルステージ制御部22に送られる。レチクルステージ制御部22は、レチクルステージRSTの位置情報に基づいてレチクルステージ駆動部19を制御し、レチクルステージRSTを移動させる。

前記レチクルRを通過した露光光ELは、例えば両側テレセントリックな投影光学系PLに入射する。投影光学系PLは、そのレチクルR上の回路パターンを

例えば1/5あるいは1/4に縮小した投影像を、表面に前記露光光E Lに対し、感光性を有するフォトリソグが塗布された基板としてのウエハW上に形成する。

このウエハWは、ウエハステージW S T上にZステージ2 3及びウエハホルダ2 4を介して保持されている。Zステージ2 3は、モータ等からなるZステージ駆動部2 5により、投影光学系P Lの最適結像面に対し、任意方向に傾斜可能でかつ投影光学系P Lの光軸A X方向（Z方向）に微動可能になっている。また、ウエハステージW S Tは、モータ等のウエハステージ駆動部2 6により、前記走査方向（Y方向）の移動のみならず、前記ウエハ上に区画された複数のショット領域に対し任意に移動できるように、走査方向に垂直な方向（X方向）にも移動可能に構成されている。これにより、ウエハW上の各ショット領域毎に走査露光を繰り返すステップ・アンド・スキャン動作が可能になっている。

前記ウエハステージW S Tの端部には、干渉計2 7からのレーザビームを反射する移動鏡2 8が固定されており、ウエハステージW S TのX方向及びY方向の位置は干渉計2 7によって常時検出される。ウエハステージW S Tの位置情報（または速度情報）はウエハステージ制御部2 9に送られ、ウエハステージ制御部2 9はこの位置情報（または速度情報）に基づいて前記ウエハステージ駆動部2 6を制御する。

前記ウエハステージW S Tの上方には、前記ウエハホルダ2 4のZ方向の位置を検出可能なオートフォーカス機構としての、いわゆる斜入射光学方式の焦点位置検出系（以下、A Fセンサと呼ぶ）3 0が、投影光学系P Lを左右から挟むように配設されている。このA Fセンサ3 0は、ウエハWの表面に非感光性の照明光を所定形状のスリットを介して斜め上方から照射する投光系3 0 aと、その照明に基づく投影像のウエハW表面からの反射像の結像光を受光する受光系3 0 bとから構成されている。A Fセンサ3 0は予め投影光学系P Lの最適結像面でベストフォーカス位置を検出するように較正されている。そして、このA Fセンサ3 0からの位置情報は後述する主制御系4 2に送られ、主制御系4 2はこの位置情報に基づきウエハステージ制御部2 9を介してZステージ駆動部2 5を制御する。これにより、Zステージ2 3をZ方向に移動させて、ウエハWの表面を投影



光学系P Lの結像面と一致するベストフォーカス位置に配置させる。なお、A Fセンサ3 0として、所定形状のスリットの代わりに、複数のスリットを照射する多点A Fセンサを用いてもよい。

ここで、ステップ・アンド・スキャン方式でレチクルR上の回路パターンをウエハW上のショット領域に走査露光する場合、レチクルR上の照明領域が、前記レチクルプラインド1 4で長方形（スリット）状に整形される。この照明領域は、レチクルR側の走査方向（+Y方向）に対して直交する方向に長手方向を有する。そして、レチクルRを露光時に所定の速度 $V_r$ で走査することにより、前記レチクルR上の回路パターンを前記スリット状の照明領域で一端側から他端側に向かって順次照明する。これにより、前記照明領域内におけるレチクルR上の回路パターンが、前記投影光学系P Lを介してウエハW上に投影され、投影領域が形成される。

ここで、ウエハWはレチクルRとは倒立結像関係にあるため、前記レチクルRの走査方向とは反対方向（-Y方向）へ、前記レチクルRの走査に同期して所定の速度 $V_w$ で走査される。これにより、ウエハWのショット領域の全面が露光可能となる。走査速度の比 $V_w/V_r$ は正確に投影光学系P Lの縮小倍率に応じたものになっており、レチクルR上の回路パターンがウエハW上の各ショット領域上に正確に縮小転写される。

次に、被検光学系としての前記投影光学系P Lの波面収差を測定するための構成について説明する。

図1に示すように、前記照明光学系1 7のフライアイレンズ1 2とリレーレンズ1 3 aとの間には、可動ミラー3 1が可動ミラー駆動部3 2により、前記露光光E Lの光路内に出入可能に配備されている。可動ミラー3 1の近傍には、測定光R Lとして前記露光光E Lの波長とほぼ一致する波長の連続光を出射する測定光源3 3が配置されている。この測定光源3 3は、その出力が前記露光光E Lに比べてピークパワーが小さくなるように設定されている。

前記可動ミラー3 1は、前記投影光学系P Lの収差測定時には前記露光光E Lの光路内に進入配置され、前記測定光源3 3から出射された測定光R Lを反射して、その測定光R Lを照明光学系1 7から投影光学系P L内に入射させる。これ

に対して、露光時には、前記可動ミラー 31 は前記露光光 E L の光路内から退出配置され、前記露光光 E L のレチクル R 上への照射を阻害しないようになっている。

前記連続光としては、例えば DFB 半導体レーザまたはファイバーレーザから発信される赤外域または可視域の単一波長レーザを、例えばエルビウム（またはエルビウムとイットリビウムとの両方）がドープされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波等を用いる。

例えば、前記露光光 E L が ArF エキシマレーザ光 ( $\lambda = 193 \text{ nm}$ ) であるとするれば、前記単一波長レーザの発振波長を  $1.51 \sim 1.59 \mu\text{m}$  の範囲内とした場合に出力される  $189 \sim 199 \text{ nm}$  の範囲内の 8 倍高調波を前記測定光 R L とすることが好ましい。また、前記発振波長を  $1.544 \sim 1.553 \mu\text{m}$  の範囲内に狭帯化することにより出力される  $193 \sim 194 \text{ nm}$  の範囲内の 8 倍高調波は、その波長が前記 ArF エキシマレーザ光とほぼ一致するため、前記測定光 R L としてさらに好ましい。

図 1 に示すように、前記ウエハステージ W S T 上の Z ステージ 23 には取付凹部 34 が形成され、この取付凹部 34 には前記投影光学系 P L の波面収差を検出するためのパターン像検出機構としての波面収差測定ユニット 35 が着脱可能に装着されている。この波面収差測定ユニット 35 は、投影光学系 P L に対向する検出面（投影光学系 P L を通過した光が入射する入射面）36 a を有し、その入射面 36 a の高さがウエハ W の表面の高さとほぼ一致するように配置されている。

図 2 に示すように、前記波面収差測定ユニット 35 の内部には、コリメータレンズ系 37 と、リレーレンズ系 38 と、マイクロレンズアレイ 39 と、受光機構としての撮像素子 (CCD) 40 とが設けられている。前記コリメータレンズ系 37 は、前記入射面 36 a が形成された対物レンズ 36 から波面収差測定ユニット 35 内に入射する光束を平行光 P B に変換する。この対物レンズ 36 及びコリメータレンズ系 37 は対物光学系を構成する。対物レンズ 36 のうち、投影光学系 P L に対向するレンズ（光学素子）表面はほぼ平面で形成される。この平面が前記入射面 36 a をなし、この入射面 36 a が投影光学系 P L の結像面とほぼ一致するように配置されている。また、コリメータレンズ系 37 の投影光学系 P

L側の焦点位置 $F_p$ は、入射面36a上に位置するように設定されている。

前記マイクロレンズアレイ39は、マイクロレンズが平行光の光軸に対して直交する面内に2次元的に配列され、前記平行光PBを複数の光束に分割し、その分割された光束を各レンズ毎にCCD40上に集光させるものである。前記CCD40は、前記各レンズ毎の集光ポイントの位置（結像位置）を検出するものである。そして、このCCD40は、受光した各集光ポイントの位置に関する信号を波面収差検出部41に対して出力する。

この波面収差検出部41は、入力された前記各集光ポイントの位置の情報に基づいて前記投影光学系PLの波面収差を算出し、算出された波面収差に関する情報を露光装置全体の動作を制御する主制御系42に出力する。このように、前記波面収差検出部41によって波面収差演算機構が構成されている。

また、この実施形態においては、前記AFセンサ30により、結像状態検出機構が構成されている。そして、前記波面収差測定ユニット35にて投影光学系PLの波面収差を測定するのに先立って、このAFセンサ30により、投影光学系PLの結像面に対する、波面収差測定ユニット35の入射面36aの位置を検出する。その結果、その波面収差測定ユニット35の入射面36aに対するパターンの像（このパターンの像の詳細は後述するが、ここでいうパターンの像は、投影光学系PLの物体面内に配置されたピンホールパターンを示す。）の結像状態を検出する。また、この実施形態では前記Zステージ駆動部25により調整機構が構成され、AFセンサ30の検出結果に基づいて、Zステージ23をZ方向に移動させて、投影光学系PLの結像面に対する波面収差測定ユニット35の入射面36aを調整する。

次に、投影光学系PLの収差を補正する構成について説明する。

図1に示すように、前記投影光学系PLにおいて、前記レチクルRに最も近い第1群のレンズエレメント44は第1支持部材45に固定され、第2群のレンズエレメント46は第2支持部材47に固定されている。前記第2群のレンズエレメント46より下部のレンズエレメント48は、鏡筒部49に固定されている。前記第1支持部材45は、伸縮可能な複数（例えば3つで、図1では2つを図示）の第1駆動素子50により前記第2支持部材47に連結されている。その第

2支持部材47は、伸縮可能な複数の第2駆動素子51によって鏡筒部49に連結されている。前記各駆動素子50、51は、結像特性制御部52に接続されている。

ここで、前記主制御系42は、波面収差検出部41から入力された前記投影光学系PLの波面収差の情報に基づいて、前記結像特性制御部52に対し、前記各駆動素子50、51の駆動を指令する。これにより、前記各レンズエレメント44、46の相対位置が変更され、前記投影光学系PLの結像特性が補正される。

次に、前記投影光学系PLの波面収差の測定方法について説明する。

まず、前述した波面収差測定ユニット35をウエハステージWST上のZステージ23に形成された取付凹部34に取付ける。そして、ウエハステージ駆動部26によりウエハステージWSTをY方向に移動させて、波面収差測定ユニット35の入射面36aを投影光学系PLを構成する最も像面側に位置する光学素子に対向させる。この状態で、AFセンサ30の投光系30aから入射面36aにスリット光を投光して、その入射面36aからの反射光を受光系30bにて受光することにより、投影光学系PLの結像面に対する入射面36aの位置ずれ（入射面36aに対するパターンの像の結像状態、あるいは投影光学系PLの光軸方向における入射面36aの位置）を検出する。このAFセンサ30からの検出情報は主制御系42に送られ、主制御系42は、Zステージ23をZ方向に移動させて、投影光学系PLの結像面に対する波面収差測定ユニット35の入射面36aの位置を調整する。

次に、レチクルステージRST上に所定の径のピンホールPHが形成されたテストレチクルRtを載置する。続いて、可動ミラー駆動部32により可動ミラー31を露光光ELの光路内に進入配置させる。この状態で、測定光源33から測定光RLを出射させ、その測定光RLを可動ミラー31、リレーレンズ13a、13b、ミラー15、コンデンサレンズ16を介して前記テストレチクルRt上のピンホールPHに照射する。図3に示すように、このピンホールPHを通過することにより、前記測定光RLは球面波SWに変換される。この球面波SWは投影光学系PLに入射し、その投影光学系PLに収差が残存する場合には前記球面波SWの波面WFに歪みが生じる。投影光学系PLから出射された球面波SWは、

ウェハステージWST上に保持された波面収差測定ユニット35の入射面36aで結像し、その後、波面収差測定ユニット35の内部に入射する。波面収差測定ユニット35の内部に入射した球面波SWは、コリメータレンズ系37により平行光PBに変換される。ここで、図4(a)に示すように前記投影光学系PLに収差が存在しない場合には、前記平行光PBの波面WFpnは平面となる。一方、図4(b)に示すように前記投影光学系PLに収差が存在する場合には、前記平行光PBの波面WFpaは歪んだ面となる。

前記平行光PBは、マイクロレンズアレイ39により、複数の光束に分割されCCD40上に集光される。ここで、図4(a)に示すように、前記投影光学系PLに収差が存在しない場合には、前記平行光PBの波面WFpnは平面であるため、前記平行光PBが前記各レンズの光軸AXm1に沿って入射する。このため、前記各レンズ毎の集光スポット位置Fnは、各レンズの光軸AXm1上に存在する。

これに対して、図4(b)に示すように、前記投影光学系PLに収差が存在する場合には、平行光PBの波面WFpaは歪んだ面となる。このため、前記各レンズに入射する前記平行光PBは、前記各レンズ毎にそれぞれ異なる波面の傾きを有する。これに伴って、前記各レンズ毎の集光スポット位置Faは、前記波面の傾きに対する垂線AXp上に存在し、前記収差の存在しない場合の集光スポット位置Fnに対して位置ずれする。各集光スポット位置FaをCCD40にて検出する。

次いで、波面収差検出部41において、設計上予め与えられている投影光学系PLに収差がない場合の前記各集光スポット位置Fnと、測定対象となる投影光学系PLを通過した光束をコリメータレンズ系37、リレーレンズ系38、マイクロレンズアレイ39を介して集光された光束の前記CCD40での前記各集光スポット位置Faの検出結果とが比較される。この比較結果に基づいて、集光スポット位置Fnに対する各レンズ毎の集光スポット位置Faの位置ずれ量を求めることにより、前記投影光学系PLにおける波面収差情報が算出される。

この場合、前記実施形態においては、投影光学系PLの結像面に対する波面収差測定ユニット35の入射面36aの位置ずれが、露光装置本体に設けられてい

るAFセンサ30によって検出される。このため、ウエハステージWSTにおいて、波面収差測定ユニット35が、その入射面36aの高さとウエハWの表面の高さとが一致していない状態で設置されていたとしても、入射面36aを精度よく投影光学系PLの結像面に位置合わせすることができる。従って、波面収差測定ユニット35の入射面36aと投影光学系PLの結像面とをほぼ一致させることができる。これにより、波面収差測定ユニット35で測定した波面収差情報を、ツェルニケ多項式により、種々の収差成分に展開した際に、デフォーカス成分が小さく抑えられた状態で、他の収差成分、つまり像点移動、非点収差、コマ収差、球面収差等を測定することができる。そして、このように得られた波面収差情報に基づいて、精度よく投影光学系PLの結像特性を補正することができる。

従って、本実施形態によれば、以下のような効果を得ることができる。

(1) この投影光学系の波面収差測定装置においては、投影光学系PLの波面収差の測定に先立って、投影光学系PLの結像面に対する波面収差測定ユニット35の入射面36aの位置がAFセンサ30により検出される。そして、この検出結果に基づいて、投影光学系PLの結像面に対する波面収差測定ユニット35の入射面36aの位置が調整される。その後、投影光学系PLを介して結像されるパターンの像が波面収差測定ユニット35により検出され、その検出されたパターンの像に基づいて波面収差検出部41により投影光学系PLの波面収差情報が求められる。このため、投影光学系PLの波面収差を、投影光学系PLの結像面内に結像されたテストレチクルRtのパターンの像に基づき、より正確に測定することができる。

(2) この投影光学系の波面収差測定装置においては、投影光学系PLの結像面に対するウエハWの位置を検出するAFセンサ30を用いることにより、投影光学系PLとそれに対向配置されるコリメータレンズ系37の入射面36aとの間隔が検出される。このため、露光装置に配備されているAFセンサ30を利用して、入射面36aに対するパターンの像の結像状態を容易に検出することができる。

(3) この投影光学系の波面収差測定装置においては、前記波面収差測定ユニット35が、投影光学系PLを通過した光束を平行光に変換するコリメータレ

ンズ系 37 と、平行光を複数の光束に分割するマイクロレンズアレイ 39 と、分割された光束を受光する撮像素子 40 とを備えている。このため、簡単な構成の波面収差測定ユニット 35 により、投影光学系 PL の波面収差をより正確に測定することができる。

(4) この投影光学系の波面収差測定装置においては、コリメータレンズ系 37 が投影光学系 PL に対向する対物光学系をなしている。そして、このコリメータレンズ系 37 の入射面 36 a が平面に形成されて、投影光学系 PL の結像面とほぼ一致するように配置されている。このため、AF センサ 30 の投光系 30 a からコリメータレンズ系 37 の入射面 36 a にスリット光を投光して、その入射面 36 a からの反射光を受光系 30 b にて受光することにより、入射面 36 a に対するパターンの像の結像状態をより正確に検出することができる。よって、投影光学系 PL の波面収差をより正確に測定することができて、その波面収差に基づいて投影光学系 PL の結像特性をより正確に補正することができる。

(5) この投影光学系の波面収差測定装置においては、前記コリメータレンズ系 37 の投影光学系 PL 側の焦点位置  $F_p$  が、そのコリメータレンズ系 37 の入射面 36 a 上に設定されている。このため、コリメータレンズ系 37 の焦点位置  $F_p$  の修正を行うことなく、波面収差情報を容易に算出することができる。

(6) この投影光学系の波面収差測定装置においては、波面収差測定ユニット 35 がウェハステージ WST 上の Z ステージ 23 に対して着脱可能に配設されている。このため、波面収差測定ユニット 35 を必要な時だけ Z ステージ 23 には装着して、投影光学系 PL の波面収差を迅速かつ高精度に測定することができる。従って、露光装置の構成を簡素化することができる。

#### (第 2 実施形態)

次に、本発明の第 2 実施形態について、前記第 1 実施形態と異なる部分を中心に説明する。

この第 2 実施形態においては、前記第 1 実施形態のように、投影光学系 PL の波面収差の測定に先立って、まず、ウェハステージ駆動部 26 によりウェハステージ WST を Y 方向に移動させて、波面収差測定ユニット 35 の入射面 36 a を投影光学系 PL を構成する最も像面側に位置する光学素子に対向させる。そして、

測定光RLをテストレチクルRtのピンホールPHに照射するが、本実施形態では、AFセンサ30を使用して、波面収差測定ユニット35の入射面36aに結像されるテストレチクルRtのパターンの像の結像状態の検出を省略した。この第2実施形態では、測定された波面収差情報を、図5に示すように、ツェルニケの多項式により種々の収差成分、すなわちデフォーカス成分、像点移動、非点収差、コマ収差、球面収差等に展開して、その展開した収差成分中の一成分としてデフォーカス成分を求める。

次いで、このデフォーカス成分に基づいて、Zステージ駆動部25を制御して、Zステージ23をZ方向に移動させ、パターンの像の位置に対する波面収差測定ユニット35の入射面36aの位置を調整する。そして、この調整後、前記第1実施形態の場合と同様に、デフォーカス成分が小さく抑えられた状態で波面収差測定ユニット35及び波面収差検出部41により、投影光学系PLの波面収差を測定する。

なお、本実施形態において、波面収差情報から算出されるデフォーカス成分が予め設定された所定値（例えば、投影光学系PLの結像面と入射面36aとがほぼ一致する状態）に達するまで、デフォーカス成分の算出、位置調整、及び波面収差の測定を繰り返し行ってもよい。

従って、本実施形態によれば、前記第1実施形態における（1）、（3）、（5）及び（6）に記載の効果に加えて、以下のような効果を得ることができる。

（7） この投影光学系の波面収差測定装置においては、前記波面収差検出部41で求められた波面収差情報がツェルニケの多項式により種々の収差成分に展開され、その展開された収差成分中の一成分であるデフォーカス成分にて、入射面36aに対するテストレチクルRtのパターンの像の結像状態が検出される。このため、AFセンサ30等により、入射面36aに対するパターンの像の結像状態を実際に検出する必要がなく、波面収差情報から算出されるデフォーカス成分に基づいて、入射面36aに対するパターンの像の結像状態を容易に求めることができる。

### （第3実施形態）

次に、本発明の第3実施形態について、前記第1実施形態と異なる部分を中心



に説明する。

この第3実施形態においては、まず、前記第1実施形態のように、AFセンサ30により、入射面36aに対するパターンの像のフォーカス状態、すなわち投影光学系PLの結像面に対する入射面36aの位置ずれを検出する。そして、その検出情報に基づいて投影光学系PLの結像面に対する波面収差測定ユニット35の入射面36aの位置を調整し、この調整の後、投影光学系PLの波面収差を測定する。あるいは、前記第2実施形態のように、予め測定した波面収差情報からデフォーカス成分を算出して、そのデフォーカス成分に基づいて入射面36aに対するパターンの像の位置を調整し、この調整の後、投影光学系PLの波面収差を測定する。

次いで、測定された波面収差情報を、図5に示すツェルニケの多項式により種々の収差成分、すなわちデフォーカス成分、像点移動、非点収差、コマ収差、球面収差等に展開して、その展開した収差成分中の一成分としてデフォーカス成分を求める。そして、このデフォーカス成分に基づいて、投影光学系PLの結像面に対する波面収差測定ユニット35の入射面36aの位置を調整する。この調整の後、波面収差測定ユニット35及び波面収差検出部41により、再度投影光学系PLの波面収差を測定し直す。そして、さらに測定した波面収差情報を、図5に示すツェルニケの多項式により、デフォーカス成分、像点移動、非点収差、コマ収差、球面収差等の種々の収差成分に展開して、その展開した収差成分中からデフォーカス成分を求める。そして、このデフォーカス成分に基づいて、再度、投影光学系PLの結像面に対する波面収差測定ユニット35の入射面36aの位置を調整する。

以降、波面収差情報から算出されるデフォーカス成分が、予め設定された所定値以下に達するまで（投影光学系PLの結像面と入射面36aとがほぼ一致するまで）、前述したデフォーカス成分の算出、位置調整、及び波面収差の測定を繰り返し行う。従って、繰り返し計測を行うことにより、投影光学系PLの結像面に対する波面収差測定ユニット35の入射面36aの位置を高精度に追い込むことができる。例えば、Zステージ23のZ方向の位置決め精度に起因する測定誤差の影響を低減することができる。

従って、本実施形態によれば、前記各実施形態における（１）～（７）に記載の効果に加えて、以下のような効果を得ることができる。

（８） この投影光学系の波面収差測定装置においては、先立って求められた波面収差情報から算出されるデフォーカス成分に基づいて、波面収差測定ユニット３５の検出面の位置が変更されて、その検出面に対するパターンの像の位置が調整される。そして、この調整の後、再度波面収差測定ユニット３５にてパターンの像が検出され、その検出結果に基づいて波面収差検出部４１により波面収差情報が求め直される。このため、Ｚステージ２３のＺ方向の位置決め精度に起因する測定誤差の影響を低減することができ、波面収差の測定を一層正確に行うことができる。

なお、本発明の各実施形態は、以下のように変更してもよい。

被検光学系の瞳形状を測定する第２のＣＣＤを設けてもよい。例えば、図２において、リレーレンズ３８とマイクロレンズアレイ３９との間にハーフミラーを設け、このハーフミラーの後方であって、被検光学系の瞳位置と光学的に共役な位置関係となるように第２のＣＣＤが配置される。このように第２のＣＣＤを設けることによって、ＣＣＤ４０の中心と投影光学系の瞳中心とを一致させることができ、瞳中心に対するスポット像位置の位置ずれを求めることができる。

前記実施形態では、波面収差測定ユニット３５をウエハステージＷＳＴ上のＺステージ２３の取付凹部３４に着脱可能に装着する構成としたが、前記波面収差測定ユニット３５を前記Ｚステージ２３の側面または隅部に設けた切欠部に対して着脱可能に装着する構成としてもよい。

また、前記波面収差測定ユニット３５をＺステージ２３上に直接に固定配置し、またはウエハホルダ２４を介して載置するような構成としてもよい。なお、この場合には、投影光学系ＰＬの波面収差の測定に際して、ウエハステージＷＳＴを投影光学系ＰＬの光軸ＡＸの方向に沿って移動させ、前記波面収差測定ユニット３５の入射面３６ａを前記投影光学系ＰＬの像面位置に一致させる必要がある。

これらのようにした場合、ウエハステージＷＳＴ上に取付凹部３４を設ける必要がなく、ウエハステージＷＳＴの構成の簡素化を図ることができるという効果が得られる。

前記実施形態では、可動ミラー 31 を露光光 E L の光路内に出入可能に配備して、測定光 R L を投影光学系 P L に導くようにしたが、測定光源 33 及び可動ミラー 31 を照明光学系 17 に対して着脱可能に装着するようにしてもよい。この場合、前記可動ミラー 31 は、固定式のものであってもかまわない。また、測定光源 33 を設けることなく、露光光源 11 からの露光光 E L をそのまま使用して、投影光学系 P L の波面収差を測定するように構成してもよい。

このようにした場合、照明光学系 17 の周辺構成の簡素化を図ることができるという効果が得られる。

前記実施形態では、Z ステージ駆動部 25 により、投影光学系 P L の結像面に対する波面収差測定ユニットの入射面 36 a の位置を調整するための調整機構を構成したが、結像特性制御部 52 により調整機構を構成して、投影光学系 P L の結像面の位置を変更して、入射面 36 a と投影光学系 P L の結像面との相対位置を調整するようにしてもよい。

このようにした場合でも、前記実施形態と同様の効果を得ることができる。

前記実施形態では、投影光学系 P L の結像特性を結像特性制御部 52、各駆動素子 50、51 により調整するようにしたが、例えば各レンズエレメント 44、46、48 間に厚さの異なるワッシャ等を選択嵌合して調整するようにしてもよい。また、前記投影光学系 P L を複数に分割された鏡筒内に收容し、各鏡筒間の距離を変更するようにしてもよい。さらに、露光光の波長をシフトさせたり、レチクル R を光軸方向に移動させたり、光軸に対して傾斜させて、投影光学系 P L の結像特性を補正してもよい。

このようにした場合、投影光学系 P L の周辺構成の簡素化を図ることができるという効果が得られる。

前記実施形態では、投影光学系 P L に入射する測定光 R L に球面波 S W を発生させるための光学部材として、ピンホール P H が形成されたテストレチクル R t を用いる構成について説明した。しかしながら、本発明は、測定光 R L に球面波 S W を発生できるものであれば、この構成に限定されるものではない。例えば、投影光学系 P L の波面収差を測定するに際しては、テストレチクル R t に代えて、レチクルステージ R S T 上に開口部を形成し、この開口部を塞ぐように取り付け

られた透明板上に、ピンホールPHパターンを形成してもよい。その他に、通常のデバイス用レチクルに、同様のピンホールPHパターンを形成してもよい。また、レチクルステージRST自体に、同様のピンホールPHパターンを形成してもよい。

また、前記投影光学系PLの照明領域内の複数箇所について波面収差情報を測定し、それらの波面収差情報に基づいて、波面収差測定ユニット35の入射面36aと投影光学系PLの結像面との相対位置を調整するようにしてもよい。

前記実施形態では、露光光ELとしてエキシマレーザ光のパルス光を露光光ELとしたが、露光光ELとして、例えば金属蒸気レーザやYAGレーザの高調波、あるいはg線、h線、i線等の超高圧水銀ランプの輝線等の連続光を採用してもよい。このようにした場合、測定光RLのパワーをさらに下げることができて、ピンホールパターンの耐久性を一層向上することができる。なお、露光光ELとして、遠紫外の波長域あるいは真空紫外の波長域の露光光を使用する場合、例えば、本実施形態で説明したArFエキシマレーザ光、F<sub>2</sub>レーザ光を使用する場合には、露光光ELの光路空間を外気から遮断するとともに、露光光ELが透過する気体（不活性ガスや希ガス等）で光路空間をガス置換するガス置換機構を備えることが望ましい。さらに、波面収差測定装置内を外気から遮断し、かつ、不活性ガスや希ガスでガス置換するガス置換機構を備えることが望ましい。これらのガス置換によって、有機物や吸光物質による露光光の吸収が低減され、安定した照度のもとで、被検光学系の波面収差を測定することができる。

前記実施形態では、測定光RLをDFB半導体レーザまたはファイバーレーザの高調波としたが、測定光RLとして、例えばアルゴンランプ、クリプトンランプ、キセノンランプ等の希ガス放電ランプ、キセノン-水銀ランプ、ハロゲンランプ、蛍光灯、白熱灯、水銀灯、ナトリウムランプ、メタルハライドランプ等から出射される紫外光、可視光または赤外光、またはそれらの光を単波長化した光の高調波、YAGレーザ光、金属蒸気レーザ光等の高調波を採用してもよい。

前記実施形態では、シャッターハルトマン方式により投影光学系PLの収差を波面収差として測定する方法を採用したが、位相回復法によって光学像複素振幅分布から投影光学系PLの波面収差を求める、いわゆるPSF（ポイント・スプ

レッド・ファンクション)方式を採用してもよい。

前記実施形態では、露光装置の投影光学系P Lを波面収差の測定対象の被検光学系として具体化した。が、露光装置における照明光学系等その他の光学系、あるいは露光装置とは異なった光学装置における光学系の波面収差測定装置に具体化してもよい。

前記実施形態では、本発明を半導体素子製造用の走査露光型の露光装置に具体化した。が、例えばステップ・アンド・リピート方式により一括露光を行う露光装置に具体化してもよい。また、液晶表示素子、撮像素子、薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイス製造用の露光装置、レチクル等のフォトマスク製造用の露光装置、露光装置に具体化してもよい。

さらに、投影光学系は、全ての光学素子が屈折系のレンズに限られず、反射素子(ミラー)で構成されるものや、屈折系のレンズと反射素子とからなる反射屈折系であってもよい。また、投影光学系は、縮小系に限られず、等倍系、拡大系であってもよい。

なお、複数のレンズから構成される照明光学系17、投影光学系P Lを露光装置本体に組み込み光学調整するとともに、多数の機械部品からなるレチクルステージR S TやウエハステージW S Tを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、さらに総合調整(電気調整、動作確認等)をすることにより前記実施形態の露光装置を製造することができる。露光装置の製造は、温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

前記実施形態における照明光学系17の各レンズ12, 13a, 13b, 16及び投影光学系P Lの各レンズエレメント44, 46, 48の硝材としては、蛍石、石英などの他、フッ化リチウム、フッ化マグネシウム、フッ化ストロンチウム、リチウム-カルシウム-アルミニウム-フロオライド、及びリチウム-ストロンチウム-アルミニウム-フロオライド等の結晶や、ジルコニウム-バリウム-ランタン-アルミニウムからなるフッ化ガラスや、フッ素をドーブした石英ガラス、フッ素に加えて水素もドーブされた石英ガラス、OH基を含有させた石英ガラス、フッ素に加えてOH基を含有した石英ガラス等の改良石英等も適用することができる。

次に、上述した露光装置をリソグラフィ工程で使用したマイクロデバイス（以下、単に「デバイス」という）の製造方法の実施形態について説明する。

図6は、デバイス（ICやLSI等の半導体素子、液晶表示素子、撮像素子（CCD等）、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造例のフローチャートを示す図である。図6に示すように、まず、ステップS101（設計ステップ）において、デバイスの機能・性能設計（例えば、半導体デバイスの回路設計等）を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップS102（マスク製作ステップ）において、設計した回路パターンを形成したマスク（レクチルR等）を製作する。一方、ステップS103（基板製造ステップ）において、シリコン、ガラスプレート等の材料を用いて基板（シリコン材料を用いた場合にはウエハWとなる。）を製造する。

次に、ステップS104（基板処理ステップ）において、ステップS101～S103で用意したマスクと基板を使用して、後述するように、リソグラフィ技術等によって基板上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップS105（デバイス組立ステップ）において、ステップS104で処理された基板を用いてデバイス組立を行う。このステップS105には、ダイシング工程、ボンディング工程、及びパッケージング工程（チップ封入等）等の工程が必要に応じて含まれる。

最後に、ステップS106（検査ステップ）において、ステップS105で作製されたデバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経た後にデバイスが完成し、これが出荷される。

図7は、半導体デバイスの場合における、図6のステップS104の詳細なフローの一例を示す図である。図7において、ステップS111（酸化ステップ）では、ウエハWの表面を酸化させる。ステップS112（CVDステップ）では、ウエハW表面に絶縁膜を形成する。ステップS113（電極形成ステップ）では、ウエハW上に電極を蒸着によって形成する。ステップS114（イオン打込みステップ）では、ウエハWにイオンを打ち込む。以上のステップS111～S114のそれぞれは、ウエハ処理の各段階の前処理工程を構成しており、各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。

ウエハプロセスの各段階において、上述の前処理工程が終了すると、以下のようにして後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップS 1 1 5（レジスト形成ステップ）において、ウエハWに感光剤を塗布する。引き続き、ステップS 1 1 6（露光ステップ）において、先に説明したリソグラフィシステム（露光装置）によってマスク（レチクルR）の回路パターンをウエハW上に転写する。次に、ステップS 1 1 7（現像ステップ）では露光されたウエハWを現像し、ステップS 1 1 8（エッチングステップ）において、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、ステップS 1 1 9（レジスト除去ステップ）において、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。

これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウエハW上に多重に回路パターンが形成される。

以上説明した本実施形態のデバイス製造方法を用いれば、露光工程（ステップS 1 1 6）において上記の露光装置が用いられ、真空紫外域の露光光ELにより解像力の向上が可能となり、しかも露光量制御を高精度に行うことができる。従って、結果的に最小線幅が0.1  $\mu\text{m}$ 程度の高集積度のデバイスを歩留まりよく生産することができる。

#### 産業上の利用可能性

本発明によれば、向上した測定精度で被検光学系の波面収差を測定できる装置及び方法が提供される。本発明の装置及び方法によれば、測定した波面収差に基づいて投影光学系の結像特性が正確に補正されるので、高精度の露光が可能となり、また、高精度なマイクロデバイスの製造が可能となる。

## 請求の範囲

1. 被検光学系を介して所定面に結像されるパターンの像を検出するパターン像検出機構と、検出された前記パターンの像に基づいて前記被検光学系の波面収差情報を求める波面収差演算機構とを備えた波面収差測定装置において、

前記所定面に対する前記パターンの像の結像状態を検出する結像状態検出機構と、検出された前記結像状態に基づいて前記所定面と前記パターンの像との相対位置を調整する調整機構とを備えたことを特徴とする波面収差測定装置。

2. 前記所定面は、前記パターン像検出機構の検出面であり、前記調整機構は、前記被検光学系の結像面の位置と前記パターン像検出機構の検出面の位置との少なくとも一方を調整することを特徴とする請求項 1 に記載の波面収差測定装置。

3. 前記パターン像検出機構は対物光学系を有し、前記検出面は前記対物光学系を構成する光学素子の表面である請求項 2 に記載の波面収差測定装置。

4. 前記検出面は平面に形成された面である請求項 3 に記載の波面収差測定装置。

5. 前記結像状態検出機構は、マスクに形成された回路パターンの像を基板に投影する投影光学系が搭載された露光装置に配備され、かつ前記投影光学系の結像面に対する前記パターン像検出機構の検出面のベストフォーカス位置を検出するオートフォーカス機構からなることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の波面収差測定装置。

6. 前記結像状態は、前記波面収差演算機構で求められた波面収差情報から算出されるデフォーカス成分に対応することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の波面収差測定装置。

7. 前記波面収差演算機構は、前記波面収差情報から算出されるデフォーカス成



分に基づいて前記調整機構に前記所定面と前記パターンの像の相対位置を調整させるとともに、その調整後、再度前記パターン像検出機構に前記パターンの像を検出させて、その検出結果に基づいて波面収差情報を求め直すことを特徴とする請求項 6 に記載の波面収差測定装置。

8. 前記デフォーカス成分は、前記波面収差情報をツェルニケの多項式により種々の収差成分に展開した際の一成分からなることを特徴とする請求項 5 または請求項 7 に記載の波面収差測定装置。

9. 前記パターン像検出機構は、前記被検光学系を通過した光束を平行光に変換する光学系と、前記平行光を複数の光束に分割する光学系と、前記分割された光束を受光する受光機構とを備えることを特徴とする請求項 1 ～請求項 8 のうちいずれか一項に記載の波面収差測定装置。

10. 前記平行光に変換する光学系は前記被検光学系に対向する対物光学系をなし、その対物光学系の第一面を平面に形成したことを特徴とする請求項 9 に記載の波面収差測定装置。

11. 前記対物光学系の前記被検光学系側の焦点位置を、その対物光学系の第一面上に設定したことを特徴とする請求項 10 に記載の波面収差測定装置。

12. 前記被検光学系は前記マスク上のパターンを基板上に投影する露光装置の投影光学系をなし、前記対物光学系の第一面を前記投影光学系の結像面とはほぼ一致するように配置したことを特徴とする請求項 10 または請求項 11 に記載の波面収差測定装置。

13. マスク上のパターンを、投影光学系を介して基板上に投影する露光装置において、

前記請求項 1 ～請求項 12 のうちいずれか一項に記載の波面収差測定装置を固

定状態または着脱可能状態で備えたことを特徴とする露光装置。

14. 請求項13に記載の露光装置を用いてマイクロデバイスを製造することを特徴とするマイクロデバイスの製造方法。

15. 被検光学系を介して結像されるパターンの像を検出するパターン像検出機構と、検出された前記パターンの像に基づいて前記被検光学系の波面収差情報を求める波面収差演算機構とを備えた波面収差測定装置において、

前記波面収差情報をツェルニケ多項式により展開し、デフォーカス成分を算出する算出器と、

前記算出器で算出された前記デフォーカス成分に基づいて、前記所定面と前記パターンの像との相対位置を調整する調整機構とを備えたことを特徴とする波面収差測定装置。

16. 前記波面収差演算機構は、前記調整機構で前記所定面と前記パターンの像との相対位置を調整した後に、再度前記波面収差情報を求めなおすことを特徴とする請求項15に記載の波面収差測定装置。

17. 再度求められた前記波面収差情報に基づいて、前記被検光学系の光学特性を調整する光学特性調整装置を制御する制御装置を有することを特徴とする請求項15に記載の波面収差測定装置。

18. 被検光学系を介して所定面に結像されるパターンの像を検出し、検出された前記パターンの像に基づいて前記被検光学系の波面収差情報を求める波面収差測定方法において、

前記所定面に対する前記パターンの像の結像状態を検出し、

検出された前記結像状態に基づいて前記所定面と前記パターンの像との相対位置を調整し、

前記所定面と前記パターンの像との相対位置を調整した後に、前記被検光学系

の波面収差情報を求めることを特徴とする波面収差測定方法。

19. 前記結像状態は前記波面収差情報から算出されるデフォーカス成分に対応することを特徴とする請求項18に記載の波面収差測定方法。

20. 前記波面収差情報から算出されるデフォーカス成分に基づいて、前記相対位置を調整した後に、再度前記被検光学系の波面収差情報を求めることを特徴とする請求項18に記載の波面収差測定方法。

21. 被検光学系を介して所定面に結像されるパターンの像を検出し、検出された前記パターンの像に基づいて前記被検光学系の波面収差情報を求める波面収差測定方法において、

前記波面収差情報をツェルニケ多項式により展開することによって、デフォーカス成分を算出し、

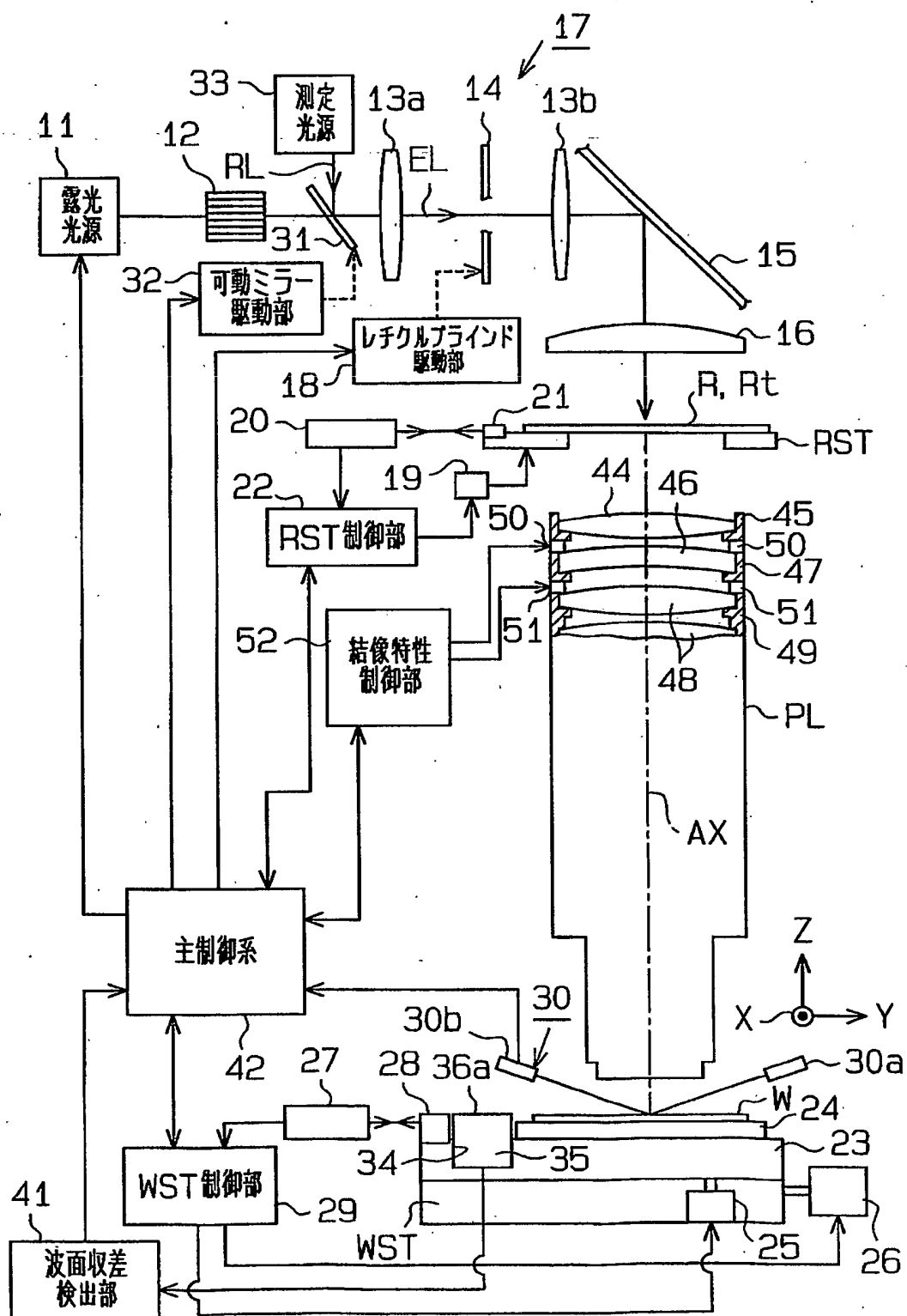
前記デフォーカス成分に基づいて前記所定面と前記パターンの像との相対位置を調整することを特徴とする波面収差測定方法。

22. 前記所定面と前記パターンの像との相対位置を調整した後に、再度前記波面収差情報を求め直すことを特徴とする請求項21に記載の波面収差測定方法。

23. 前記所定面と前記パターンの像との相対位置の調整、及び前記波面収差情報の算出は、前記デフォーカス成分が所定範囲内に収まるまで繰り返されることを特徴とする請求項22に記載の波面収差測定方法。

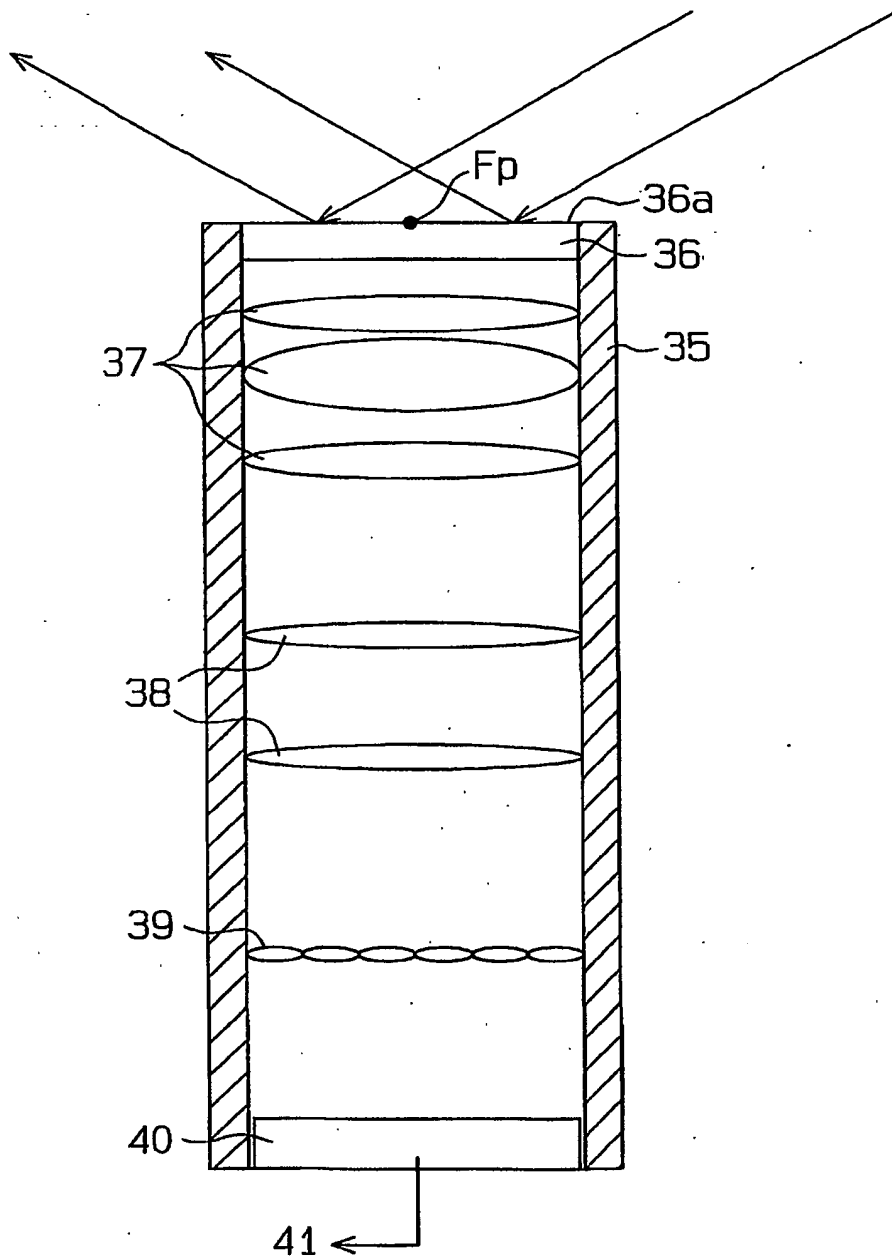
1/7

図 1



2/7

図2



3/7

図3

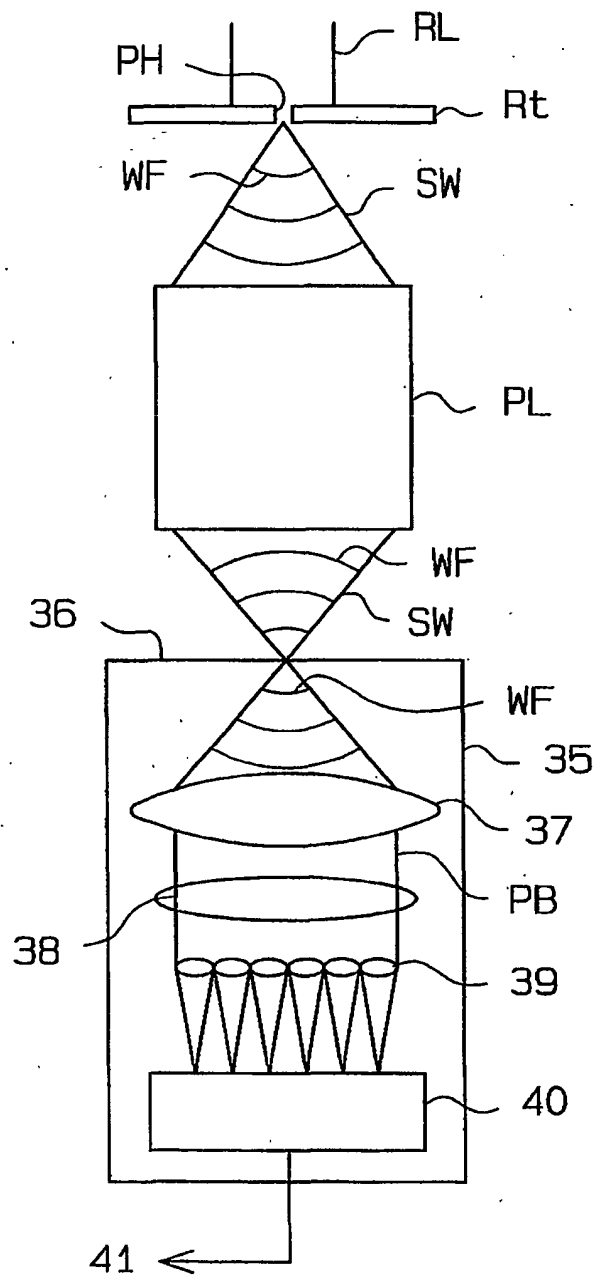
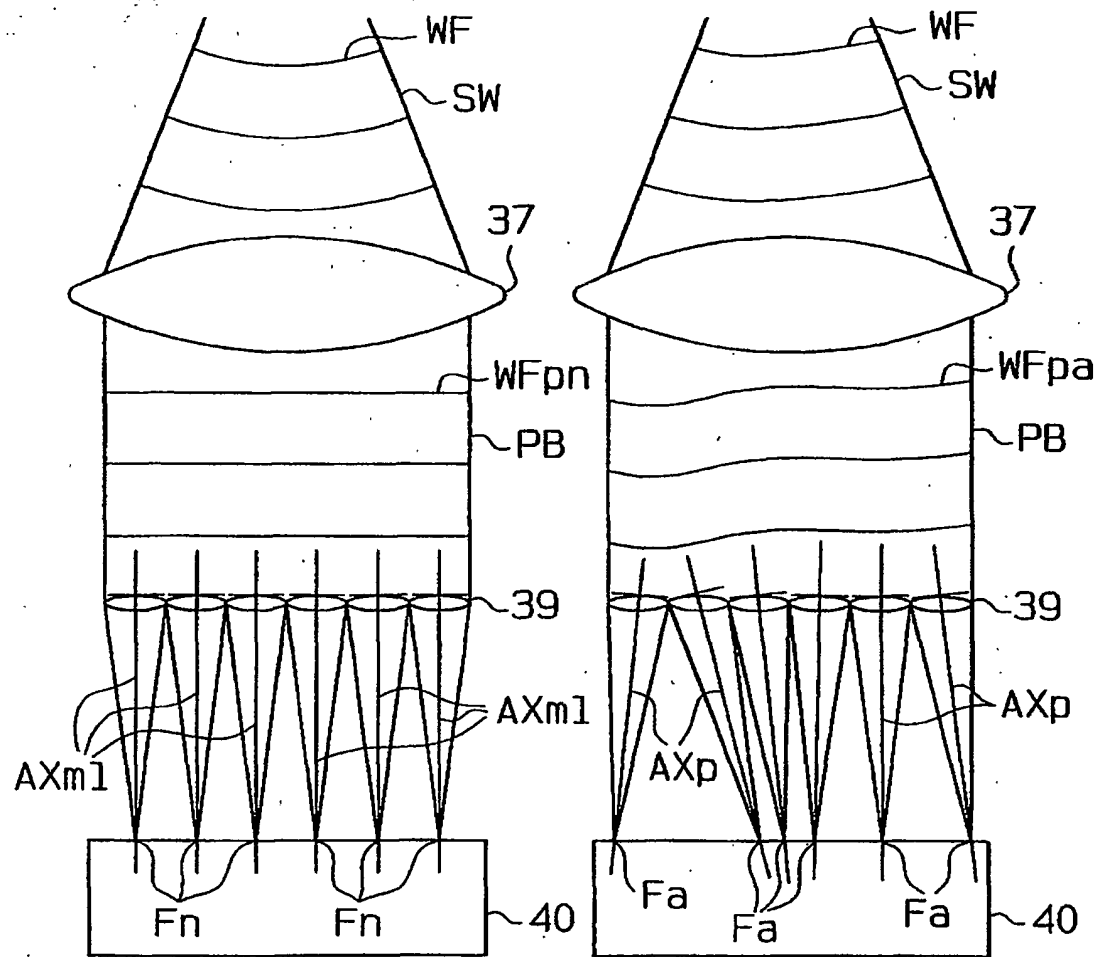


FIG 4a

FIG 4b



5/7

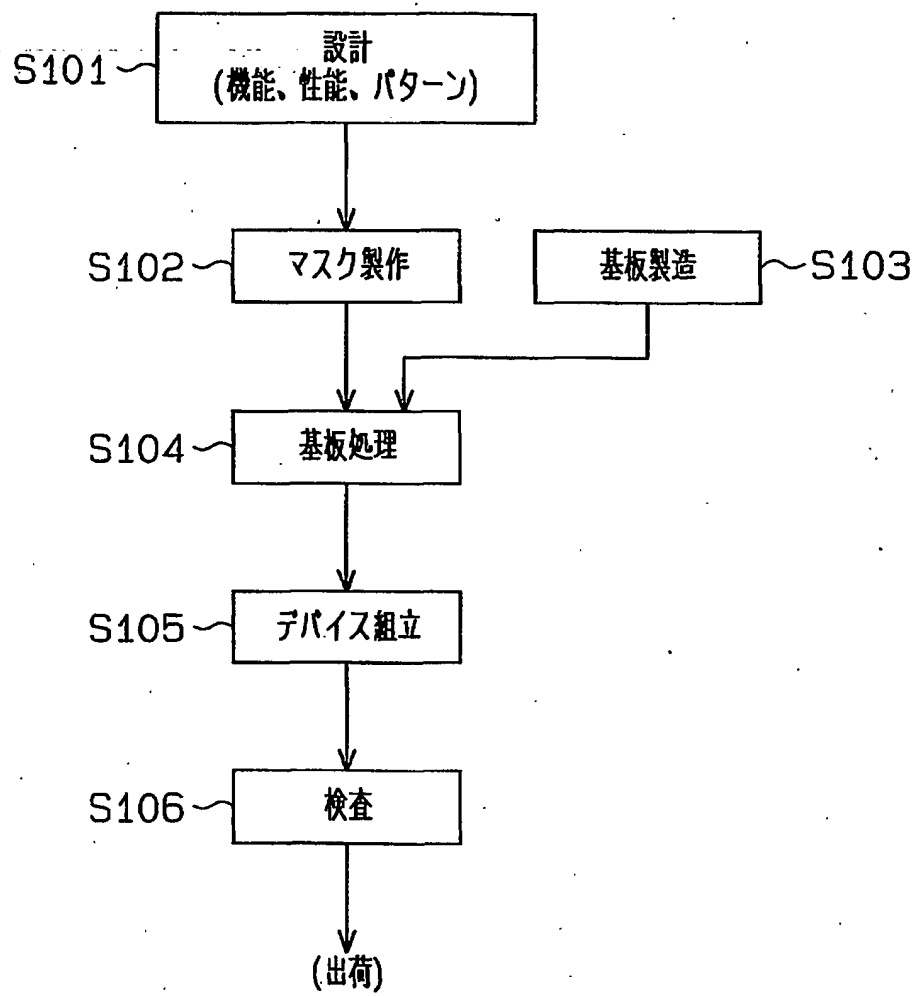
図5

ツェルニケ多項式			$Q_n(\rho) \text{ pm } (\cos m\phi + \sin m\phi)$	
n	m	No.	多項式	
0	0	0	1	
1	1	1	$\rho \cos \phi$	像点移動
		2	$\rho \sin \phi$	
	0	3	$2\rho^2 - 1$	フォーカス
2	2	4	$\rho^2 \cos 2\phi$	3次1階非点収差
		5	$\rho^2 \sin 2\phi$	
	1	6	$(3\rho^2 - 2) \rho \cos \phi$	3次コマ収差
		7	$(3\rho^2 - 2) \rho \sin \phi$	
3	0	8	$6\rho^4 - 6\rho^2 + 1$	4次球面収差
		9	$\rho^3 \cos 3\phi$	
	.	.	.	
	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	



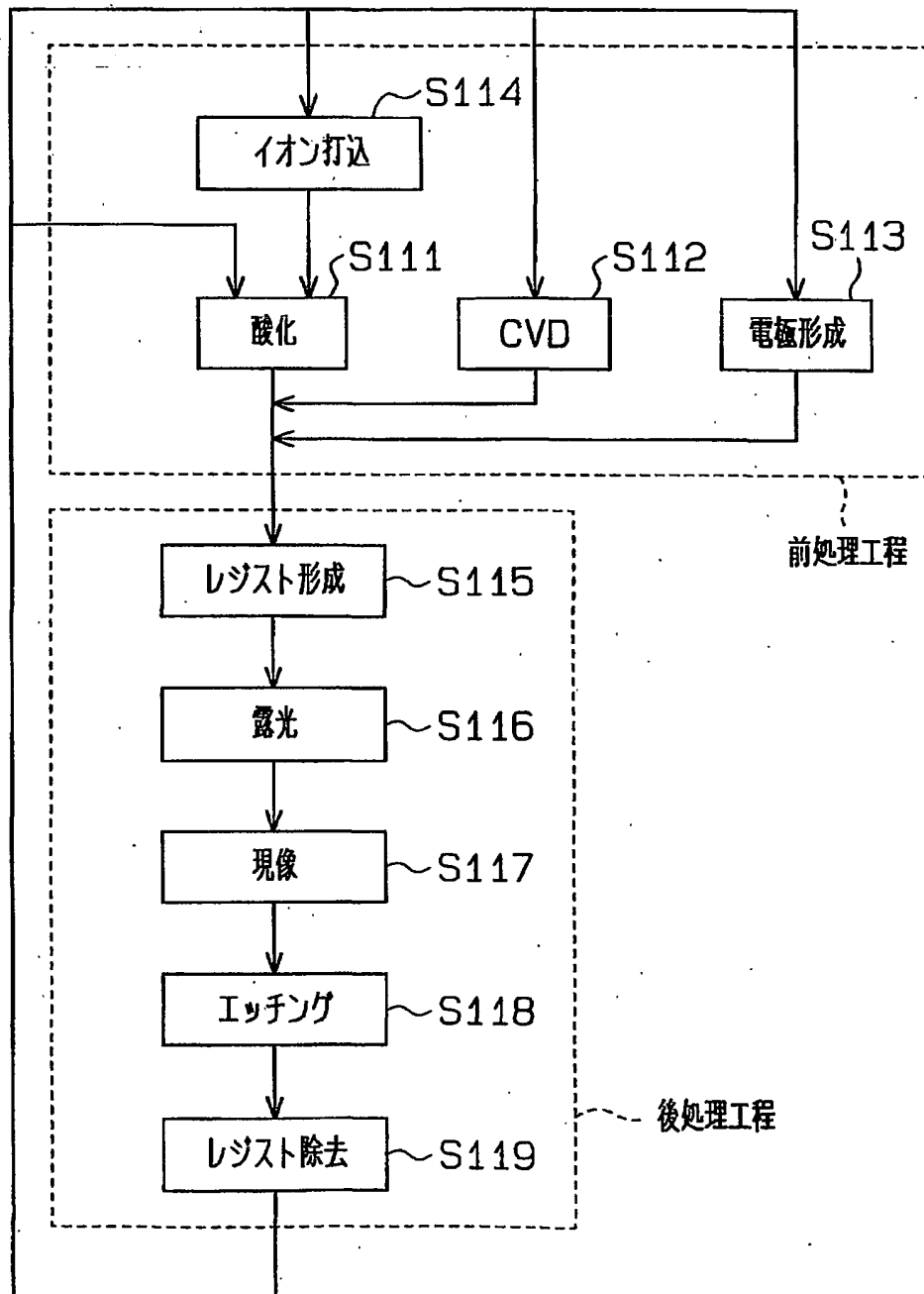
6/7

図6



7/7

図7



**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**Int.Cl<sup>7</sup> H01L21/027, G01B11/00, G01M11/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H01L21/027, G01B11/00, G01M11/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2002

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2002 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2000-340488 A (Canon Inc.), 08 December, 2000 (08.12.00), Full text (Family: none)	1-14, 18-20 15-17, 21-23
X Y	JP 2000-277411 A (Canon Inc.), 06 October, 2000 (06.10.00), Page 1; Par. Nos. [0021] to [0025] (Family: none)	1-14, 18-20 15-17, 21-23
Y	JP 2000-121491 A (Nikon Corp.), 28 April, 2000 (28.04.00), Par. Nos. [0009] to [0013] (Family: none)	15-17, 21-23
Y	JP 2000-47103 A (Nikon Corp.), 18 February, 2000 (18.02.00), Claims; Par. Nos. [0005] to [0008] (Family: none)	15-17, 21-23

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.
 ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
05 April, 2002 (05.04.02)Date of mailing of the international search report  
23 April, 2002 (23.04.02)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, Y	JP 2001-230193 A (Canon Inc.), 24 August, 2001 (24.08.01), Page 1; Par. Nos. [0030] to [0072] (Family: none)	1-23
A	JP 2000-277412 A (Canon Inc.), 06 October, 2000 (06.10.00), Claims (Family: none)	1-23
A	JP 11-297600 A (Nikon Corp.), 29 October, 1999 (29.10.99), Page 1; Par. Nos. [0011] to [0012] (Family: none)	1-23

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01L21/027, G01B11/00, G01M11/02

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01L21/027, G01B11/00, G01M11/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2002年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2002年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2002年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2000-340488 A (キャノン株式会社) 2000.12.08	1-14, 18-20
Y	全文 (ファミリーなし)	15-17, 21-23
X	JP 2000-277411 A (キャノン株式会社) 2000.10.06	1-14, 18-20
Y	第1ページ, 【0021】 — 【0025】 (ファミリーなし)	15-17, 21-23

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

05.04.02

国際調査報告の発送日

23.04.02

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

岩本 勉

2M 9355

電話番号 03-3581-1101 内線 6992

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2000-121491 A (株式会社ニコン) 2000. 04. 28 【0009】 — 【0013】 (ファミリーなし)	15-17, 21-23
Y	JP 2000-47103 A (株式会社ニコン) 2000. 02. 18 特許請求の範囲, 【0005】 — 【0008】 (ファミリーなし)	15-17, 21-23
P, Y	JP 2001-230193 A (キャノン株式会社) 2001. 08. 24 第1 ページ, 【0030】 — 【0072】 (ファミリーなし)	1-23
A	JP 2000-277412 A (キャノン株式会社) 2000. 10. 06 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	1-23
A	JP 11-297600 A (株式会社ニコン) 1999. 10. 29 第1 ページ, 【0011】 , 【0012】 (ファミリーなし)	1-23